

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTVEREINS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
22. April 2004 (22.04.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/034611 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: H04B 10/18

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/002941

(22) Internationales Anmeldedatum:
4. September 2003 (04.09.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102 46 723.4 8. Oktober 2002 (08.10.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE];
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BOHN, Marc

[DE/DE]; Matthias-Mayer-Strasse 4, 81379 München (DE). NEUHAUSER, Richard [DE/DE]; Rispenweg 14, 85375 Neufahrn (DE). WRAGE, Marc-Steffen [DE/DE]; Allescherstrasse 25, 81479 München (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): CA, CN, US.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

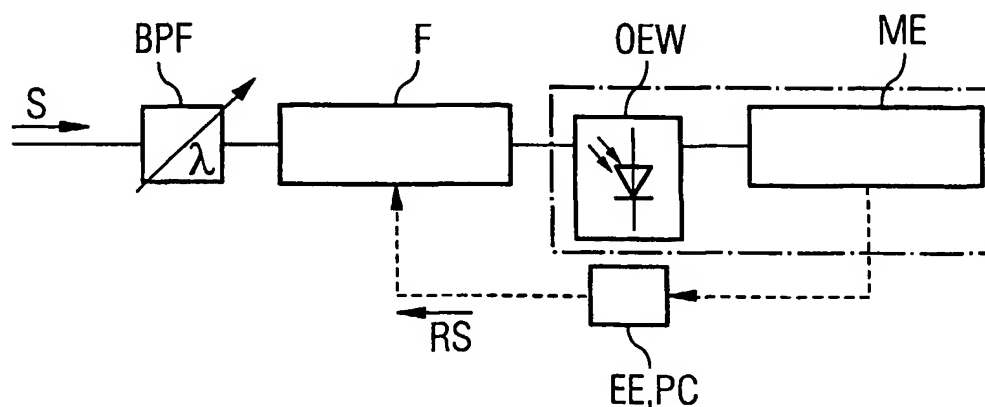
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND ARRANGEMENT FOR DETERMINING SIGNAL DEGRADATIONS IN THE PRESENCE OF SIGNAL DISTORTIONS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND ANORDNUNG ZUR ERMITTLUNG VON SIGNALDEGRADATIONEN IN ANWSENHEIT VON SIGNALVERZERRUNGEN



(57) Abstract: The invention relates to a method and several arrangements for determining signal degradations of an optical signal transmitted in a transmission signal in the presence of signal distortions, wherein at least one part of the optical signal is fed to an adaptive optical or electric filter at a place of measurement in the transmission system and is subsequently measured according to one or several quality parameters. A first measurement of the quality parameter is carried out by transparent adjustment of the adaptive filter and other measurements of the quality parameters are carried out with predefined transparency properties of the adaptive optical filter which respectively have an influence upon signal distortions. As a result it is possible to analyze or to separate signal-influencing effects or groups of effects. In another embodiment of the invention, the filter parameters of an optical/electric equalizer or filter structure, which are adjusted by said analysis, are described according to optimization of the signal quality.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und mehrere Anordnungen zur Ermittlung von Signaldegradationen eines in einem Übertragungssystem übertragenen optischen Signals in Anwesenheit von Signalverzerrungen, bei dem an einem Messort des Übertragungssystems mindestens ein Anteil des

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2004/034611 A1



Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

optischen Signals einem adaptiven optischen oder elektrischen Filter zugeführt wird und anschließend gemäß einem oder mehrerer Qualitätsparameter gemessen wird. Eine erste Messung des Qualitätsparameters wird bei durchlässiger Einstellung des adaptiven Filters durchgeführt und weitere Messungen des Qualitätsparameters werden mit vordefinierten Durchlasseigenschaften des adaptiven optischen Filters durchgeführt, die jeweils Einfluss auf eine der Signalverzerrungen haben. Eine Analyse oder eine Trennung von signalbeeinflussenden Effekten oder Gruppen von Effekten wird dadurch ermöglicht. Eine weitere Ausführung der Erfindung wird durch die Analyse der eingestellten Filterparametern einer optischen/elektrischen Entzerrer- bzw. Filterstruktur nach Optimierung der Signalqualität beschrieben.

Beschreibung

Verfahren und Anordnung zur Ermittlung von Signaldegradationen in Anwesenheit von Signalverzerrungen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung von Signaldegradationen in Anwesenheit von Signalverzerrungen nach dem Oberbegriff der Patentansprüche 1 und 31 und zwei Anordnungen nach den Oberbegriffen der Patentansprüche 18 und 22.

Die Bestimmung der optischen Signalqualität sowie der Ursachen von Signalstörungen vorzugsweise in WDM-Netzwerken (WDM = Wavelength Division Multiplex) der nächsten Generation ist von großer Bedeutung für den Betrieb optischer Netze. So muss beispielsweise die Qualität von einzelnen Kanälen eines übertragenen WDM-Signals gemessen werden, um eine sogenannte Preemphase bzw. eine Verkippung der Leistungspegel der optischen Kanäle zu steuern und somit die Systemperformance zu optimieren. Zur Problemvermeidung und -beseitigung müssen auftretende Fehler lokalisiert und ihre Ursache schnell bestimmt werden. Die Aufgabe der Signalqualitäts- und Fehlerursachenbestimmung ist ein zentrales und bislang nicht gelöstes Problem in optischen Netzwerken der nächsten Generation.

Eine derzeit verwendete Methode zur Bestimmung der Signalqualität ist die Messung der Signal-Rauschabstände OSNR (Optical Signal-to-Noise Ratio) mittels eines optischen Spektrumsanalyzers OSA (Optical Spectrum Analyzer). Hierzu wird das Verhältnis zwischen Signalleistung und Rauschpegel seitlich neben der Signalfrequenz eines Kanals berechnet. Implizit geht man dabei davon aus, dass die Rauschpegel bei und direkt neben der Signalwellenlänge des Kanals gleich sind

Bei diesem Verfahren treten jedoch gleich mehrere Probleme auf.

Bei Verwendung von optischen Filtern (z.B. Multiplexer oder Demultiplexer, Interleaver, Einzelkanalfilter) in "Optical Add-Drop Multiplexern" OADM oder "Optischen Crossconnects" OXC, wie sie in heutigen Systemen zunehmend vorhanden sind, ist die Annahme, dass die gemessenen Rauschpegel neben und bei der Signalwellenlänge gleich sind, nicht mehr zulässig. Dies gilt ebenso, wenn ein zu geringer Wellenlängenabstand benachbarter Kanäle zu einer Überlappung der Signalflanken führt. Des weiteren können durch spektrale Verbreiterung z.B. durch Selbstphasenmodulation SPM, Kreuzphasenmodulation XPM, oder Datenratenüberhöhung bei Signalen mit "Forward Error Correction" FEC die Messergebnisse verfälscht werden.

Die derzeitige Messmethode der Signal-Rauschabstände OSNR mittels optischer Spektrumsanalyse erfasst zudem keine Signalverschlechterungen, die durch nichtlineare Effekte wie stimulierte Ramanstreuung SRS, Vierwellenmischung FWM, bzw. durch Übersprechen oder Dispersion GVD hervorgerufen werden. Effekte, wie z.B. Selbstphasenmodulation SPM oder Kreuzphasenmodulation XPM, werden fälschlicherweise als OSNR-Verschlechterung interpretiert.

Eine alternative Methode zur Bestimmung des OSNR nutzt die unterschiedlichen Polarisations-eigenschaften von Signal und Verstärkerrauschen (ASE) aus. Diese Methode ("Polarisation Nulling") basiert auf der Bestimmung des Verhältnisses zwischen polarisiertem Signal und unpolarisiertem Rauschen.

Die Bestimmung der Signalqualität mit Hilfe eines gemessenen optischen Spektrums ist aus den oben genannten Gründen nicht mehr ausreichend für optische Datenübertragungssysteme. Andere Verfahren besitzen eine deutlich bessere Aussagekraft über die Signalqualität. Ein zu nennendes Beispiel wäre hier die Methode der Q-Messung, bei der ein zweiter Entscheider in seiner Entscheiderschwelle gegen die Entscheiderschwelle des Referenzentscheiders verschoben wird. Trägt man die Bitfehler-rate über der verstimmtten Entscheiderschwelle auf, so kann

man unter Annahme von gaussartigem Rauschen die optimale Bitfehlerrate bestimmen. Bei bekannter Bitsequenz kann man zudem aus dem direkten Vergleich von gesendetem und empfangenem Bitmuster die Bitfehlerrate bestimmen. Bei Systemen mit "Forward Error Correction" FEC oder "Enhanced Forward Error Correction" EFEC können die korrigierten Bits als Maß für die Signalqualität herangezogen werden.

Bei Aufnahme von Augendiagrammen zur Bestimmung der Signalqualität werden mit Hilfe einer schnellen Photodiode die Leistungspegel des optischen Signals oder eines seiner Kanäle synchron abgetastet. Eine variable Verzögerungsleitung sorgt dafür, dass nicht nur in der Bitmitte sondern auch links und rechts von dieser gemessen werden kann. Man erhält auf diese Weise die Überlagerungen der Leistungspegelverläufe vieler Bits in einem Diagramm. Je größer die innere Öffnung, das sogenannte Auge, ist, desto besser kann ein Entscheider im Empfänger zwischen gesendeten "Nullen" und "Einsen" unterscheiden und desto fehlerfreier ist die Signalübertragung. Beim EAS (Electrical Amplitude Sampling) wird die Häufigkeitsverteilung der Amplitudenwerte der empfangenen "Nullen" und "Einsen" gemessen und hieraus die Signalqualität bestimmt werden. Im synchronen Fall geschieht dieses stets zu einem festen Abtastzeitpunkt. Dieser liegt meist in der Bitmitte.

Aussagen über die Signalqualität kann man ausgehend von gemessenen Amplitudenhistogrammen aus Breite und Lage der Maxima oder im Augendiagramm aus der Augenöffnung erhalten. Bei Störungen hervorgerufen durch Rauschen oder rauschartige Effekte verbreitern sich die Verteilungen der "Nullen" und der "Einsen" im Amplitudenhistogramm und der freie Bereich im Augendiagramm verringert sich. Signalverschlechterungen hervorgerufen durch Rauscheffekte können nicht kompensiert werden.

Die bloße Bestimmung der Signalqualität reicht jedoch zur Erkennung der Fehlerursachen nicht aus. Es müssen Aussagen über den Ursprung eventueller Signalverschlechterungen getroffen

werden. In zukünftigen optischen Übertragungsnetzen werden Signalkanäle unterschiedlicher Herkunft an Knotenpunkten wie bei schon erwähnten OADMs oder OXCs zusammen geschaltet und über eine gemeinsame Faser weiter übertragen. Da die verschiedenen Kanäle unterschiedliche Historien bezüglich ihrer erlittenen Signalverschlechterungen besitzen, kann zur Bestimmung der Störquelle nicht die Gesamtheit der Signalkanäle betrachtet werden. Es ist vielmehr sinnvoll Informationen über die Qualität und eventuelle Störursachen eines Datenkanals direkt aus Messungen, die an dem zu betrachtenden Kanal durchgeführt wurden, zu extrahieren. Es wird vorgeschlagen, ein adaptives optisches Filter zur Minimierung der Signalverzerrungen zu benutzen. Aus "An Adaptive Optical Equalizer Concept for Single Channel Distortion Compensation", M. Bohn et al., ECOC 2001, Amsterdam, MO.F.2.3 ist eine Anordnung bekannt, bei der mittels einer Einstellung von Durchlasseigenschaften eines adaptiven optischen Filters eine Entzerrung eines optischen Signals bei Dispersion GVD, Selbstphasenmodulation SPM und Polarisationsmodendispersion PMD ermöglicht wird. Anhand von Simulationen wird die Augenöffnung des gemessenen verzerrten Signals nach Durchlass in das adaptive optische Filter als FIR-Filter (FIR = Finite Impulse Response) bis zur 10. Ordnung und für unterschiedliche Bandbreite FSR (Free Spectral Range) zur Phasenverzögerung berechnet. Durch eine passende Einstellung des adaptiven optischen Filters wird gezeigt, dass eine effektive Kompensation der Signalverzerrungen zur Einebnung der Signalqualität eines Kanals erreicht wird.

Ferner können Signalverzerrungen durch Ermittlung und Auswertung des elektrischen Spektrums der digitalen Datensignale detektiert werden. Solche Auswertungen werden in Laborexperimenten auch zur Steuerung von elektrischen Entzerrern und/oder Kompensatoren zur Signalverbesserung benutzt. Die Auswertung des elektrischen Spektrums erlaubt zwar eine automatisierte Signalsoptimierung, aber meistens keine verzerrungsspezifischen Aussagen. Das elektrische Spektrum ist wei-

terhin stark vom Sender abhängig und daher ebenfalls nicht geeignet zur Detektion von Verzerrungen in Datenübertragungssystemen.

Einige Verzerrungen können auch individuell detektiert und untersucht werden. So kann beispielsweise chromatische Dispersion mittels einer variablen Dispersionskompensation und einem nachgeschalteten Signalqualitätsanalysator gemessen werden. Solche Lösungen sind technisch aufwendig und teuer. Weiterhin werden jeweils nur die zu untersuchende Verzerrungsart detektiert, nicht jedoch eine generelle Signalverzerrung. Für eine schnelle und umfassende Verzerrungsdetektion ist der Ansatz der individuellen Verzerrungsdetektion sehr aufwendig und daher nicht optimal geeignet.

Die derzeitigen Messverfahren sind also aufgrund ihrer Komplexität und ihrer Kosten, aufgrund der Notwendigkeit von Experten vor Ort oder aufgrund ihrer starken Einschränkungen im Hinblick auf ihre Aussagekraft nicht für den kommerziellen Einsatz zur Überwachung von Datennetzen geeignet. Eine einfache allgemeine Aussage, dass überhaupt Signalverzerrungen vorliegen, die von großem Nutzen für Netzbetreiber wäre, gibt es nicht derzeit nicht.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren und dementsprechende Anordnungen anzugeben, bei denen z. B. mittels eines adaptiven optischen Filters Aussagen über wesentliche Ursachen von Signaldegradationen sowie die Signalqualität eines übertragenen optischen Signals geliefert werden. Werden nun andere Komponente - z. B. ein elektrischer oder optischer Entzerrer, ein elektrischer oder optischer Kompensator, etc - als das oben genannte adaptive optische Filter verwendet, sollte ebenfalls eine Lösung zur Erzielung der oben genannten Aussage angegeben werden.

Eine Lösung der Aufgabe erfolgt hinsichtlich ihres Verfahrensaspekts durch ein Verfahren mit den Merkmalen der Patentansprüche 1 und 31 und hinsichtlich ihres Anordnungsaspekts

durch zwei Anordnungen mit den Merkmalen der Patentansprüche 18 und 22.

Erfindungsgemäß werden, in einer ersten Weise, vordefinierte Durchlasseigenschaften des adaptiven optischen Filters eingestellt, die jeweils einen Einfluss auf eine oder mehrere Signalverzerrungen haben.

Eine oder mehrere Messungen eines oder mehrerer Qualitätsparameter werden am Ausgang des adaptiven optischen Filters durchgeführt. Damit kann eine Aussage gemacht werden, durch welche wesentlichen signalbeeinflussenden Effekte das gemessene Signal beeinträchtigt ist. Hier wird zwischen deterministischen Signalverzerrungen und rauschartigen Störungen unterschieden. Das adaptive Filter kann nur deterministische Signalverzerrungen beeinflussen, d. h. z.B. alle Verzerrungen wegkompensieren oder nur Dispersion entzerren. Ferner können Kompensationen des optischen Signals durch optimierte Einstellungen des adaptiven optischen Filters durchgeführt werden. Dieser Aspekt wurde schon im Stand der Technik erläutert. Es können trotzdem damit auch nach dem Ausschlussprinzip Aussagen über die rauschartigen Störungen gemacht werden. Wenn z. B. die Signal-Rauschabstände OSNR zusätzlich hinter dem adaptiven optischen Filter gemessen werden (z.B. mit Polarization Nulling oder mit einem optischen Spektrumanalysator oder bei Amplitudensampling), dann können ebenfalls verschiedene rauschartige Störungen (z.B. ASE, FWM, XPM, etc) unterschieden werden.

Weitere - eventuell kombinierte - Qualitätsparameter können verwendet werden. Hauptsache ist es, dass der gewählte Qualitätsparameter eine Aussage über Signalverzerrungen oder über rauschartige Störungen oder über beides liefert.

Bei breitbandigen optischen Signalen wie in typischen WDM-Übertragungssystemen wird ein spektraler Anteil z. B. bei einer Kanalwellenlänge vor dem Einspeisen des Signals in das

adaptive optische Filter isoliert. In vorteilhafter Weise wird dem adaptiven optischen Filter lediglich eine schnelle Fotodiode mit einem nachgeschalteten Modul zur Messung des Qualitätsparameters nachgeschaltet. Die Fotodiode kann auch im Modul zur Messung des Qualitätsparameters integriert werden. Bei verschiedenen Einstellungen der Durchlasseigenschaften des adaptiven optischen Filters werden mehrere Werte des Qualitätsparameters gespeichert und mit dem Wert des Qualitätsparameters bei vollem Durchlass des adaptiven optischen Filters verglichen. Somit erhält man ein Maß der Beeinträchtigung des optischen Signals bezüglich einer Signalstörung. Die Verwendung des adaptiven Filters in der optischen Domäne ist vorteilhaft, da die Signalbeeinflussung noch vor der Fotodiode (und damit vor dem Verlust der Phaseninformation) stattfindet und einzelne Effekte so leichter bestimmt werden können.

Gewählte Einstellungen der Durchlasseigenschaften des adaptiven optischen Filters können gleichzeitig einen gemeinsamen Einfluss auf mehr als eine Signalverzerrung haben. Deshalb werden auch Gruppen von Messungen bei unterschiedlichen Einstellungen betrachtet, damit eindeutige Aussage über eine oder mehrere Signalverzerrungen geliefert werden.

Nach Ermittlung der Signalverzerrungen kann weiterhin eine Aussage über die restlichen Rauschanteile (z. B. Verstärkungsrauschen) oder weitere Störungen (FMW = Four Wave Mixing, SRS, etc) gemacht werden. Optional kann dafür zusätzlich ein optischer Spektrumanalysator oder ein weiteres geeignetes Qualitätsmessgerät dem adaptiven optischen Filter angeschlossen werden.

Wie im Stand der Technik schon erwähnt führen verschiedene ursächliche Störungen zu unterschiedlichen Verzerrungen des Augendiagramms. Um möglichst eine optimale Augenform zu erhalten, werden ein oder mehrere Einstellparameter eines elektrischen Entzerrers bzw. eines Kompensators je nach Form der Verzerrung eingestellt. Als elektrischer Entzerrer kann

als FIR oder IIR Filter mit mehreren Einstellparametern realisiert werden, zu dem das optisch-elektrisch umgewandelte Signal geführt wird und an dessen Ausgang das ermittelte Augendiagramm durch Variation der Einstellparameter dementsprechend umgeformt sein kann. Für ein oben genanntes Filter sind die als hier Einstellparameter vorgesehene einstellbare Entzerrer- bzw. Filterkoeffizienten zur gewichteten Summe unterschiedlicher phasen- bzw. zeitverzögerten Signale des verzerrten bzw. gefilterten Signals vorgesehen. Dabei drücken sich unterschiedliche Signalverzerrungen in verschiedenen Filterkoeffizientenvektoren aus, die z. B. in Verbindung mit einer Signalqualität des entzerrten bzw. gefilterten Signals analysiert werden können. Im Umkehrschluss lassen sich auf eine einfache Weise durch Ermittlung dieser Filterkoeffizienten z. B. in Form eines Koeffizientenvektors Rückschlüsse auf die vorhandenen Signalverzerrungen des zu entzerrenden Signals herleiten. Vordefinierte Koeffizientenvektoren können dabei für gezielte Rückschlüsse dienen. Dieses vorteilhafte Verfahren kann genutzt werden, um bei Kenntnis der für verschiedene Verzerrungsarten charakteristischen Koeffizientenvektoren den eingestellten Filterparametern schnell entsprechende Störursachen z. B. tabellarisch zuzuordnen.

Dieses Verfahren kann ebenfalls bei dem Einsatz des vorher erwähnten optischen adaptiven Filters oder eines anderen optischen Kompensators (z. B. Dispersion-Kompensator) mit dazugehörigen Einstellparametern angewendet werden.

Die Erfindung schlägt also vor, eine oder mehrere Reihen eingestellter Einstellkoeffizienten eines Entzerrers bzw. eines Filters bei entstandener Signalqualität zu analysieren, um Hinweise über Signalverzerrungsursachen zu erhalten. Unter der Voraussetzung, dass die Signalqualität durch den elektrischen Entzerrer z. B. optimiert wird, müssen die Einstellkoeffizienten Informationen über die entzerrten Signalstörungen beinhalten. Bei Kenntnis der Entzerrer- bzw. Filterstruktur können die Einstellkoeffizienten geeignet analysiert werden. Jedoch auch ohne genaue Kenntnis der Filterstruktur können die Filterkoeffizienten mit Hilfe von gezielten Referenzmes-

sungen, die eine Aussage liefern, wie sich die Filterkoeffizienten bei bestimmten Signalverzerrungen einstellen, interpretiert und analysiert werden.

Der elektrische Entzerrer oder ein Kompensator oder das vorher verwendete optische adaptive Filter müssen nicht unbedingt bei diesem Verfahren auf vordefinierte Werte eingestellt werden. In diesem Fall wird die Analyse der Signalqualität nicht durch gezielte Beeinflussung des optischen oder elektrischen Signals mittels eines optischen oder elektrischen adaptiven Filters und darauf folgender Signalqualitätsanalyse durchgeführt. Es wird vielmehr das adaptive Filter einmal so eingestellt, das die Signalqualität ein Optimum erreicht, um dann aus der Analyse der Filterkoeffizienten bzw. deren Werten bei und/oder bis zum Optimum Signalstörungen zu bestimmen. Als Kriterium für ein Signalqualitätsoptimum kann z. B. die Augenhöhe, -form, -größe des ermittelten gefilterten bzw. entzerrten Augendiagramms oder die Anzahl von FEC-korrigierten Bits herangezogen werden.

Bei der Verwendung elektrischer Entzerrer oder Kompensatoren zur Ermittlung von Signaldegradationen in Anwesenheit von Signalverzerrungen sind mehrere wesentliche Vorteile zu beachten. Erstmal sind diese Komponenten kommerziell als Basistechnologie verfügbar aus einer breiten Produktauswahl. Damit wird die Realisierung einer derartigen erfindungsgemäßen Anordnung einfach und günstig. Ihr Einsatz ist unabhängig von einem Empfänger- oder einer Übertragungssystemart bzw. vom Lieferant stets möglich.

Die Filterkoeffizienten können direkt von dem elektrischen Entzerrer oder Kompensatoren geliefert bzw. bezogen werden. Deshalb wird keine zusätzliche elektronische Ermittlungseinheit der Filterkoeffizienten benötigt.

Elektrische Entzerrer bieten eine sehr kurze Einstellzeit und können sich beispielsweise innerhalb von wenigen Tausend Bits,

d. h. in weniger als 1 μ s bei 10 Gb/s, einstellen oder regeln lassen. Das erfindungsgemäße Verfahren weist also eine hohe Geschwindigkeit auf.

Insbesondere sind optische Kompensatoren von der verwendeten Datenrate und dem Modulationsformat eines optischen Signals weitgehend unabhängig. Dieser Aspekt gilt auch in eingeschränkter Weise für elektrische Entzerrer, die eine Frequenztoleranz bei ca. 20-30% zu der Datenrate aufweisen.

Je nach Einstellanforderungen der Filterkoeffizienten können qualitative bis quantitative Ermittlungen von Signalverzerrungen durchgeführt werden.

Diese Verfahren sind an jedem Messort des Übertragungssystems einsetzbar, z. B. bei einer Add-Drop-Einrichtung mittels einer Auskoppereinrichtung. Die gelieferten Aussagen können z. B. über das Netzwerkmanagement ausgewertet werden, damit z. B. kanalselektive Änderungen von Übertragungseigenschaften vorgenommen werden. Alternativ kann auch eine einfache tragbare Rechneinheit wie ein normaler Computer verwendet werden. Dadurch können ebenfalls durch Auskopplung des Signals oder durch Verwendung eines Überwachungskanals an einem beliebigen Messort eine Messung und eine Analyse von Signaldegradationen durchgeführt werden.

Eine geeignete Anordnung mit dem optischen adaptiven Filter wird bei dem Einsatz eines ein- oder zwei-stufigen Verstärkers zur Anpassung des gemessenen Signals an der Messdynamik dargestellt.

Eine weitere kostengünstigere Anordnung mit dem optischen adaptiven Filter wird ebenfalls dargestellt.

Ferner sind weitere Anordnungen mit einem als Filter vorgesehenen elektrischen Entzerrer bzw. Kompensator dargestellt, wobei nun die Ermittlung von Signaldegradationen in Anwesen-

heit von Signalverzerrungen anhand von Filterkoeffizienten ausführlich beschrieben wird.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird im folgenden anhand der Zeichnung näher erläutert.

Dabei zeigen:

- Fig. 1: eine prinzipielle Anordnung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Fig. 2: eine detaillierte Anordnung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Fig. 3: eine kostengünstige Anordnung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Fig. 4: eine weitere Anordnung mit einem elektrischen Entzerrer,
- Fig. 5: eine alternative Anordnung mit einem optischen Kompensator,
- Fig. 6: eine Darstellung eines Einstellraums von Filterkoeffizienten,
- Fig. 7: eine Einstellungsreihe der komplexen Filterkoeffizienten,
- Fig. 8: eine Einstellungsreihe der Beträge der komplexen Filterkoeffizienten,
- Fig. 9: eine Charakterisierung der Übertragungsfunktion des optischen oder elektrischen Filters.

In Fig. 1 wird eine prinzipielle Anordnung beschrieben, die eine Ermittlung von Signaldegradationen bzw. -verzerrungen eines in einem Übertragungssystem übertragenen optischen Signals S ermöglicht. An einem Messort des Übertragungssystems wird ein Anteil des optischen Signals S einem adaptiven optischen Filter F zugeführt und anschließend gemäß einem Quali-

tätsparameter aus einer Messeinheit ME gemessen. Als Messeinheit wird z. B. ein elektrischer Spektrumanalysator oder ein Leistungsmesser bei einem dem adaptiven optischen Filter F vorgeschalteten Bandpassfilter BPF zur Isolierung einer optischen Kanalwellenlänge verwendet. Dafür ist ein optisch-elektrischer Wandler OEW dem adaptiven optischen Filter F und der Messeinheit zwischengeschaltet. Der optisch-elektrische Wandler OEW ist jedoch oft in der Praxis in der Messeinheit ME integriert). Hier wird eine schnelle Fotodiode verwendet. Die Verwendung des adaptiven Filters F in der optischen Domäne ist vorteilhaft, da die Signalbeeinflussung noch vor der Fotodiode OEW (und damit vor dem Verlust der Phaseninformation) stattfindet und einzelne Effekte so leichter bestimmt werden können. Der Messeinheit ME ist eine Ermittlungseinheit EE der Signalqualität mit wenigstens einem Qualitätsparameter wie OSNR, Bitfehlerrate, Q-Faktor oder eine Anzahl von korrigierten Bits bei FEC/EFEC oder zur Messung von Polarisationsneffekten nachgeschaltet. Insbesondere liefert der gewählte Qualitätsparameter bzw. die Messeinheit EE eine Aussage über Signalverzerrungen und weiterhin über restliche rauschartige Störungen wie OSNR. Die Ermittlungseinheit ist in diesem Ausführungsbeispiel in einem Rechner PC integriert, der ebenfalls die Einstellungen des adaptiven optischen Filters F mittels eines Regelsignals RS steuert. Die Einstellungen könnten auch direkt von einem Netzwerkmanagement gesteuert werden.

Verfahrensmäßig wird eine erste Messung M0 des oder der Qualitätsparameter bei durchlässiger Einstellung des adaptiven optischen Filters F durchgeführt. Eine Bypass-Schaltung kann auch für den vollen Durchlass des Signals verwendet werden. Weitere Messungen M1, M2, ... des Qualitätsparameters werden durch verschiedene Einstellungen von im Rechner PC vordefinierten Durchlasseigenschaften des adaptiven optischen Filters F durchgeführt, die jeweils Einfluss auf eine der Signalverzerrungen haben und aus denen ein Optimum des Qualitätsparameters ermittelt wird.

Als Messung M1 kann das adaptive optische Filter F z. B. auf verschiedene Dispersionswerte eingestellt werden. Die Signalqualität als Funktion der Dispersion wird gemessen und man erhält die optimale Dispersionskompensationseinstellung sowie die Signalqualität bei optimaler Dispersionskompensation. Auf diese Weise kann unabhängig von der akkumulierten Dispersion die wirkliche Signalqualität an einem beliebigen Punkt im optischen Übertragungssystem bestimmt werden. Zudem kann an diesem Punkt auch die Dispersionstoleranz bestimmt werden, die ein Maß dafür ist, wie genau man die Restdispersion einstellen muss, um eine gewisse Bitfehlerrate zu erreichen.

Als Messung M2 wird die Signalqualität mittels des adaptiven optischen Filters F optimiert. Mit Hilfe dieser Einstellung werden sämtliche Verzerrungseffekte unabhängig von Ihrer Ursache beeinflusst oder kompensiert. Auf diese Weise erhält man die bestmögliche Signalqualität nach einer Entzerrung des Signals. Nur rauschartige Störungen wie z. B. Verstärkerrauschen, FWM oder SRS führen jetzt noch zu einer Signalverschlechterung. Weiter können auch gezielt Verzerrungen nur hervorgerufen durch z. B. SPM kompensiert werden. Man erhält dadurch Aussagen, welcher Störeffekt das Signal in welcher Weise beeinflusst.

Mit Hilfe dieses Verfahrens kann beispielsweise durch den Vergleich der Signalqualität, die bei den genannten drei Einstellungen des adaptiven optischen Filters F und bei den entsprechenden Messungen M0, M1, M2 gemessen wurden, entschieden werden, ob eine Signalverschlechterung durch Dispersion, andere Verzerrungen, oder durch rauschartige Effekte hervorgerufen wurde. Die Bestimmung der Signalqualität bei optimaler Dispersionskompensation erlaubt eine zuverlässige Aussage über die Signalqualität am Messort und über den Status der Dispersionskompensation. Weiter kann der Einfluss verschiedener Filtereinstellungen auf die Ergebnisse der unterschiedlichen Messmethoden zur Signalqualitätsanalyse bestimmt und als Aussagekriterium genutzt werden. Werden zusätzlich Signal-

Rauschabstände OSNR gemessen, ist wie oben schon erwähnt eine Unterscheidung von rauschartigen Effekten ermöglicht. Ein oder mehrere Qualitätsparameter können ebenfalls Aussagen über Polarisisationseffekte (z.B. PDL-Polarisation Dependent Loss, PMD-Polarisation Mode Dispersion, DGD-Differential Group Delay, DOP-Degree of Polarization, etc) liefern.

Aufgrund des adaptiven optischen Filters F kann an jedem Netzelement einer optischen Übertragungsstrecke die tatsächliche Signalqualität, unabhängig von der akkumulierten Dispersion der Übertragungsstrecke gemessen werden. Die Dispersion führt zu Signalverzerrungen, die prinzipiell durch DCF (Dispersion Compensating Fiber) oder weitere Kompensationsmethoden wieder rückgängig gemacht werden können. Die Signalqualität im Kanal kann als Funktion unterschiedlicher Filterparameter gemessen werden, und ermöglicht eine Signal- und Fehleranalyse. Die Signalqualitätsanalyse kann verschiedene Methoden und auch mehrere Methoden gleichzeitig umfassen. Unterschiedliche Signalstörungen wie Dispersion, SPM oder rauschartige Störungen (Verstärkerrauschen, FWM, SRS, etc.) können erfasst und unterschieden werden.

Da die verschiedenen Kanäle unterschiedliche Historien bezüglich ihrer erlittenen Signalverschlechterungen haben, ist es jetzt möglich, Informationen über die Ursache von Signalverschlechterungen aus der kanal-selektiven Analyse des gesamten WDM-Signals S abzuleiten.

In Fig.2 ist eine Anordnung zur Ermittlung von Signaldegradationen eines über ein Übertragungssystem übertragenen optischen breitbandigen Signals S beschrieben, von dem mindestens ein spektral- oder/und amplitudenmäßiger Anteil S1 mittels eines Kopplers KO ausgekoppelt und einem adaptiven optischen Filter F zugeführt wird. Hier wird allerdings der spektrale Anteil des Signals S mittels eines einem breitbandigen Koppler KO nachgeschalteten Bandpassfilters BPF0 selektiert. Dem adaptiven optischen Filter F sind eine Messeinheit ME und ei-

ne Ermittlungseinheit EE zur Ermittlung eines oder mehrerer Qualitätsparameter nachgeschaltet. Dem adaptiven optischen Filter F ist eine Steuereinheit SE wenigstens zur Durchschaltung und/oder zur Beeinflussung auf Signalverzerrungen bis zur Entzerrung des optischen Signals S durch Einstellungen vordefinierter Durchlasseigenschaften des adaptiven optischen Filters F geschaltet.

Ein Bandpassfilter BPF0 ist dem Koppler KO nachgeschaltet. Dadurch wird z.B. bei Multiplex-Signal S ein Kanal des Signals S isoliert und weiter übertragen. Dem Bandpassfilter BPF0 ist ein Verstärker V1 mit einem nachgeschalteten weiteren Bandpassfilter BPF1 nachgeschaltet. Der Verstärker V1 passt das verstärkte Signal an die Messdynamik eines gemäß Fig. 1 optisch-elektrischen Wandlers an. Der Bandpassfilter BPF1 sorgt auch dafür, dass Rauschanteile wesentlich aus ASE (Amplified Spontaneous Emission) unterdrückt werden. Optional ist dem Koppler KO und dem Bandpassfilter BPF0 ein Verstärker V0 als Booster des Signalanteils S1 zwischengeschaltet.

Eine an den adaptiven optischen Filter zugeschaltete Steuereinheit SE dient zur Steuerung eines Moduls zur Beeinflussung des Phasen- und/oder Amplitudenganges des optischen Signals, das in dem adaptiven optischen Filter F integriert ist. Das am Ausgang des adaptiven optischen Filter F gefilterte Signals S2 wird der Messeinheit ME zugeführt. Anschliessend erfolgt die Qualitätsmessung gemäß Fig. 1 mittels der Ermittlungseinheit EE.

Ferner ist ein Kommunikationsmittel KM zwischen der Steuereinheit SE und der Ermittlungseinheit EE bzw. der Messeinheit ME verwendet, um einerseits ein Status der Einstellung des adaptiven optischen Filters F an der Ermittlungseinheit oder einer weiteren Kontrolleinheit zu liefern, andererseits um eine Regelung des adaptiven optischen Filters F aus der Ermittlungseinheit EE durchzuführen. Deshalb ist der Kommunikationsmittel KM am besten direktional vorgesehen.

In der Ermittlungseinheit oder in der weiteren Kontrolleinheit kann eine Tabelle zur Registrierung der signalbeeinflussenden Effekte nach entsprechenden Einstellungen der Durchlasseigenschaften des adaptiven optischen Filters F bei Neueinstellungen der Durchlasseigenschaften erzeugt werden. Die Registrierung ermöglicht eine Analyse oder eine Trennung der signalbeeinflussenden Effekte je nach Einstellung der Durchlasseigenschaften des adaptiven optischen Filters F. Ferner können die Durchlasseigenschaften des adaptiven optischen Filters F aus einer Analyse eines der ermittelten Qualitätsparameter bezüglich einer oder einer Gruppe von Signaldegradationen geregelt werden. Durch eine vordefinierte Variation der Durchlasseigenschaften des adaptiven optischen Filters F ist eine Analyse oder/und eine Trennung der Signalqualität bezüglich verschiedener signalbeeinflussender Effekte möglich. Weiterhin kann das Signal bezüglich eines oder mehrerer Qualitätsparameter mittels geeigneter Einstellparameter des adaptiven optischen Filters F optimiert werden, und aus den Einstellparametern Rückschlüsse auf die Signaldegradationen gezogen werden.

In Fig. 3 ist eine als in Fig. 2 kostengünstige Anordnung zur Messung von Signaldegradationen eines über ein Übertragungssystem übertragenen optischen breitbandigen Signals S dargestellt, dessen mindestens ein amplitudenmäßiger Anteil S1 mittels einem Koppler KO ausgekoppelt und einem adaptiven optischen Filter F zugeführt wird. Dem Koppler KO und dem adaptiven optischen Filter F sind ein erster Zirkulator C1, weiterhin ein Bandpassfilter BPF0 und anschließend ein zweiter Zirkulator C2 zwischengeschaltet. Am Ausgang des adaptiven optischen Filters F ist eine optische Signalrückführung FB zur Übertragung des gefilterten Signals S2 zum zweiten Zirkulator C2 geschaltet. Das gefilterte Signal S2 wird einer Messeinheit ME einer Signalqualität gemäß Fig. 2 über dem Zirkulator C2, dem Bandpassfilter BPF0 und dem ersten Zirkulator C1 abgegeben. Dem adaptiven optischen Filter F ist eine

Steuereinheit SE wenigstens zur Durchschaltung und/oder zur Beeinflussung von Signalverzerrungen bis zur Entzerrung des optischen Signals S zugeschaltet ist. Dem Bandpassfilter BPF0 und dem zweiten Zirkulator C2 ist ein Verstärker V1 zwischengeschaltet. Der Verstärker V1 kann auch in der optischen Signalrückführung FB beliebig angeordnet ist, d. h. dem adaptiven optischen Filter F vor- oder nachgeschaltet werden. Dem Koppler KO und dem ersten Zirkulator C1 ist optional ein Verstärker V0 als Booster wie in Fig. 2 zwischengeschaltet.

Der wesentliche Vorteil der in Fig. 3 dargestellten Anordnung besteht darin, dass ein der beiden Bandpassfilter BPF0, BPF1 gemäß Fig. 2 erspart wird und dadurch zur Senkung der Kosten führt.

Die Funktionalität sowie die weiteren Komponenten ME, EE, KM, SE dieser Anordnung ist gemäß Fig. 1 bzw. 2 identisch.

In beiden Anordnungen gemäß Fig. 2 und 3 ist ein optisch-elektrischer Wandler der Messeinheit ME vorgeschaltet.

Beide Anordnungen können ebenfalls am Ende einer Übertragungsstrecke oder z. B. am Ausgang eines Add-Drop-Modules angeschlossen werden. Dadurch sind der Koppler KO und der Verstärker V0 nicht mehr erforderlich.

Die verwendeten Bandpassfilter BP0, BPF1 bzw. BPF0 als Kanalselektoren sind in den vorher erläuterten Ausführungsbeispielen als variable Wellenlängen-Filter zum selektiven Durchlass eines optischen Kanals bei einer Wellenlängen-Multiplex-Technik vorgesehen. Durch einen Einsatz geeigneter Kanalselektoren kann das erfindungsgemäße Verfahren für unterschiedliche Multiplex-Techniken (Polarisation-Multiplex, Time-Division-Multiplex, etc) angewendet werden.

Nun zeigt Fig. 4 eine weitere Anordnung zur Ermittlung von Signaldegradationen in Anwesenheit von Signalverzerrungen ei-

nes aus einem Übertragungssystem abgezweigten optischen WDM-Signals S, bei der nach Durchgang des WDM-Signals S durch ein wellenlängenselektives Filter BPF das ausgehende Signal einem optisch-elektrischen Wandler OEW mit einem nachgeschalteten elektrischen Entzerrer EQ zugeführt ist. Am als FIR- oder IIR-Filter vorgesehenen Entzerrer EQ werden erfindungsgemäß unterschiedliche als Einstellparametern vorgesehenen Filterkoeffizienten eingestellt und zur Analyse der dabei entstandenen Signalqualität ein Augendiagramm z. B. mittels eines Oszilloskops ermittelt. Die Wahl der Filterkoeffizienten kann gemäß verschiedenen Weisen erfolgen. Die Signalqualität kann durch eine oder mehrere Änderungen der Filterkoeffizienten z. B. im Bezug auf der Größe des Auges optimiert werden und daraus die resultierenden Abweichungen der Filterkoeffizienten in Sinne von Signalverzerrungen analysiert werden. Die Änderung der Filterkoeffizienten kann auch aus vordefinierten Werten als Testvektoren, sowie anhand Augen-spezifische Anforderungen oder Eigenschaften erfolgen. Die Filterkoeffizienten können auch auf Basis anderer Signalqualitätsparameter eingestellt werden, wie z.B. Bitfehlerrate, Q-Wert oder dem elektrischen Spektrum. Ziel der Änderung und Analyse der Filterkoeffizienten ist dabei eine möglichst schnelle und automatische Ermittlung unterschiedlicher Verzerrungen wie Dispersion, Phasenmodendispersion, Selbstphasenmodulation, etc zu erreichen. Zur Steuerung einer Neueinstellung der Filterkoeffizienten kann ein Computer oder ein *Mikroprozessor als Steuereinheit* verwendet werden, wobei eine Analyseeinheit des entzerrten Signals in Verbindung mit einer Reihe von Filterkoeffizienten Aussage über ermittelten Signalverzerrungen liefert.

Fig. 5 zeigt eine alternative Anordnung gemäß Fig. 4 mit einem optischen Kompensator OK anstelle des optisch-elektrischen Wandlers OEW und des elektrischen Entzerrers EQ. Verfahrensmäßig erfolgt dieselbe Einstellung sowie die Analyse der Koeffizienten des optischen Kompensators OK wie in

Fig. 4. Dieses gilt auch genauso für ein optisches adaptives Filter anstelle des optischen Kompensators.

In Fig. 6 ist eine Darstellung eines Einstellraums von Filterkoeffizienten dargestellt, bei der zur weiteren Analyse die resultierenden Filterkoeffizienten zum Beispiel als Komponenten P_1 , P_2 , P_3 eines Vektors interpretiert werden können. Dieser Vektor wird bezüglich seiner Lage, Länge und Richtung im Parameterraum der Filterkoeffizienten klassifiziert. Eine der Verzerrungen, wie z. B. Dispersion, Polarisationsmodendispersion PMD oder Selbstphasenmodulation SPM, besitzt somit in einer Umgebung des Parameterraumes benachbarte Koeffizientenvektoren. Umgekehrt, da unterschiedlichen Signalverzerrungen durch Einstellung unterschiedlicher Stellvektoren wieder entzerrt werden, befinden sich unterschiedliche Verzerrungen und Augenformen in von einander getrennten Umgebungen im Parameterraum. Durch Zuordnung unterschiedlicher Bereiche innerhalb des Stellgrößenparameterraums zu einzelnen Störursachen, ist es möglich, im Betrieb durch Auswertung der jeweils aktuellen Entzerrerstellung die Verzerrungsursache zu bestimmen. Die Zuordnung verschiedener Signalverzerrungen zu unterschiedlichen Bereichen im Parameterraum der Filterkoeffizienten ist hier für den dreidimensionalen Koeffizientenraum dargestellt. Neben einer qualitativen Analyse können gegebenenfalls weiter Aussagen über die Stärke der Signalverzerrungen getroffen werden.

In Fig. 7 ist eine erste Einstellungsreihe von hier komplexen Amplitudenkomponenten der sieben Filterkoeffizienten eines als Entzerrer verwendeten FIR-Filters 6. Ordnung bei verschiedenen Signalverzerrungen dargestellt. Die drei oberen Diagramme zeigen die Amplitudenkomponenten der sieben Filterkoeffizienten für drei Dispersionswerte $D = 0$, -50 und $+100$ ps/nm. Die drei mittleren Diagramme zeigen die Amplitudenkomponenten der sieben Filterkoeffizienten für drei differentielle Gruppenlaufzeiten $DGD = 0$, -50 und $+20$ ps bei Polarisationsmodendispersion PMD. Die drei unteren Diagramme zei-

gen die Amplitudenkomponenten der sieben Filterkoeffizienten für zwei Leistungen $P = 10, 12$ dBm und für eine Leistung von 12 dBm mit einem Dispersionswert D von $+75$ ps/nm. Deutlich zu erkennen ist es, dass die Filterkoeffizienten je nach Verzerrung und deren Größe unterschiedlich sind. Daher ist eine Ermittlung der Verzerrungen aus den Filterkoeffizienten möglich.

In Fig. 8 ist eine zweite Einstellungsreihe von nun Beträgen der komplexen Amplitudenkomponenten der sieben Filterkoeffizienten eines als Entzerrer verwendeten FIR-Filters 6. Ordnung bei verschiedenen Signalverzerrungen gemäß Fig. 7 dargestellt. Vorteil zu Fig. 7 ist dabei die halbe Zahl von zu betrachtenden Koeffizienten für die Ermittlung der Verzerrungen, jedoch auf Kosten oder Gefahr, dass die Ermittlung nicht genau genug erfolgt.

Fig. 9 zeigt eine weitere mögliche Anwendung der Erfindung, die darin besteht, aus den Einstellkoeffizienten, die sich für eine Entzerrung z. B. mittels eines als Filter vorgesehenen Kompensators eingestellt haben, die Übertragungsfunktion der Übertragungsstrecke des optischen Signals S zu berechnen und diese zu charakterisieren. Ausgehend von einem Amplituden- (oben) und einem Phasengang (unten) Amp, GD der Übertragungsfunktion des hier verwendeten optischen FIR-Filters 6. Ordnung - und da die Übertragungsfunktion dieses Filters im Idealfall invers zur Übertragungsfunktion der Übertragungsstrecke des optischen Signals S können durch genaue Analyse der Übertragungsfunktion des Filters Rückschlüsse auf Störursachen des optischen Signals auf der Übertragungsstrecke ermittelt werden.

So kann z. B. der Phasengang oder die Gruppenlaufzeit GD (in ps, im unteren Bereich der Fig. 9) der Übertragungsfunktion in dem für die Übertragung bedeutenden Bereich von relativen Frequenzen Δf , bei ca. \pm Datenrate/2 um die Mittenfrequenz des Filters, eine Gerade interpoliert und deren Steigung -

hier $D = 132 \text{ ps/nm}$ -, sowie Abweichungen von dieser Geraden zur Charakterisierung herangezogen werden. So äußert sich z. B. Dispersion in einer linearen Gruppenlaufzeit GD über die Frequenz, wobei die Steigung das Vorzeichen sowie den Wert der Dispersion angibt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung von Signaldegradationen eines in einem Übertragungssystem übertragenen optischen Signals (S), bei dem an einem Messort des Übertragungssystems mindestens ein Anteil des optischen Signals (S) einem adaptiven optischen Filter (F) zugeführt wird und anschließend gemäß einem oder mehrerer Qualitätsparameter gemessen wird, dadurch gekennzeichnet, dass eine erste Messung (M0) des oder der Qualitätsparameter bei durchlässiger Einstellung oder unter Umgehung des adaptiven optischen Filters (F) durchgeführt wird, dass weitere Messungen (M1, M2, ...) des oder der Qualitätsparameter mit vordefinierten Durchlasseigenschaften des adaptiven optischen Filters (F) durchgeführt werden, die jeweils Einfluss auf Signalverzerrungen haben.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass vor, zwischen oder nach den durchgeführten Messungen (M1, M2, ...) die Durchlasseigenschaften des adaptiven optischen Filters (F) zur Beeinflussung bzw. Kompensation einer oder mehrerer Signalverzerrungen neu eingestellt werden.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei breitbandigem optischem Multiplex-Signal (S) ein spektral einstellbarer Anteil des optischen Multiplex-Signals (S) dem adaptiven optischen Filter (F) zugeführt wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein Qualitätsparameter für eine Aussage über die Restdispersion und über weitere Signalverzerrungen des gefilterten Signals gemessen wird und daraus eine Kompensation durch eine Einstellung des adaptiven optischen Filters (F) durchgeführt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der oder die Qualitätsparameter durch eine Messung von Augendiagrammen, Amplitudenhistogrammen, Q-Messungen, oder durch eine Messung von durch die FEC oder EFEC korrigierten Fehlern des vom adaptiven optischen Filter (F) abgegebenen und weiterhin optisch-elektrisch umgewandelten Signals erfolgt.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass ein oder mehrere Qualitätsparameter für eine Aussage über rauschartige Störungen des gefilterten Signals gemessen werden.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass ein oder mehrere Qualitätsparameter Aussagen über Polarisationseffekte liefern.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als adaptives optisches Filter (F) ein ein- oder mehrstufiges FIR- oder ein IIR-Filter mit Regelung des Amplituden- und/oder Phaseganges des optischen Signals (S) verwendet wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Durchlasseigenschaften des adaptiven optischen Filters (F) aus einer Analyse eines oder mehrerer der ermittelten Qualitätsparameter geregelt werden.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Durchlasseigenschaften des adaptiven optischen Filters (F) aus Rechnersimulationen ermittelt werden.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass durch eine vordefinierte Variation der Durchlasseigenschaften des adaptiven optischen Filters eine Analyse der Signalqualität bezüglich verschiedener signalbeeinflussender Effekte durchgeführt wird.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass durch eine vordefinierte Variation der Durchlasseigenschaften des adaptiven optischen Filters eine Trennung verschiedener signalbeeinflussender Effekte durchgeführt wird.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Signal bezüglich eines oder mehrerer Qualitätsparameter mittels geeigneter Einstellparameter des adaptiven optischen Filters (F) optimiert wird, und aus den Einstellparametern Rückschlüsse auf die Signaldegradationen gezogen werden.
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Tabelle zur Registrierung der signalbeeinflussenden Effekte nach entsprechenden Einstellungen der Durchlasseigenschaften des adaptiven optischen Filters (F) bei Neueinstellungen der Durchlasseigenschaften erzeugt wird.
15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei Feststellung einer Signalqualitätsänderung die erzeugte Tabelle aktualisiert wird.
16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,

dass als wesentliche signalbeeinflussende Effekte oder Gruppen von signalbeeinflussenden Effekten Dispersion, Verzerrungen, rauschartige Effekte und Polarisisationseffekte vorgesehen sind.

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere miteinander verbundene adaptive optische Filter F verwendet werden.

18. Anordnung zur Ermittlung von Signaldegradationen eines über ein Übertragungssystem übertragenen optischen breitbandigen Signals (S), von dem mindestens ein spektral- oder/und amplitudenmäßiger Anteil (S1) mittels eines Kopplers (KO) ausgekoppelt und einem adaptiven optischen Filter (F) zugeführt wird,

dass dem adaptiven optischen Filter (F) eine Messeinheit (ME) und eine Ermittlungseinheit (EE) zur Ermittlung eines oder mehrerer Qualitätsparameter nachgeschaltet sind,

dadurch gekennzeichnet,

dass dem adaptiven optischen Filter (F) eine Steuereinheit (SE) wenigstens zur Durchschaltung und/oder zur Beeinflussung von Signalverzerrungen des optischen Signals (S) durch Einstellungen vordefinierter Durchlasseigenschaften des adaptiven optischen Filters (F) geschaltet ist.

19. Anordnung nach Anspruch 18,

dadurch gekennzeichnet,

dass ein Bandpassfilter (BPF0) dem Koppler (KO) nachgeschaltet ist.

20. Anordnung nach Anspruch 19,

dadurch gekennzeichnet,

dass dem Bandpassfilter (BPF0) ein Verstärker (V1) mit einem nachgeschalteten weiteren Bandpassfilter (BPF1) nachgeschaltet ist.

21. Anordnung nach Anspruch 20,
dadurch gekennzeichnet,
dass dem Koppler (KO) und dem Bandpassfilter (BPF0) ein Verstärker (V0) zwischengeschaltet ist.

22. Anordnung zur Messung von Signaldegradationen eines über ein Übertragungssystem übertragenen optischen breitbandigen Signals (S), dessen mindestens ein amplitudenmäßiger Anteil (S1) mittels einem Koppler (KO) ausgekoppelt und einem adaptiven optischen Filter (F) zugeführt wird,
dadurch gekennzeichnet,
dass dem Koppler (KO) und dem adaptiven optischen Filter (F) ein erster Zirkulator (C1), weiterhin ein Bandpassfilter (BPF0) und anschließend ein zweiter Zirkulator (C2) zwischengeschaltet sind,
dass am Ausgang des adaptiven optischen Filters (F) eine optische Signalrückführung (FB) zur Übertragung des gefilterten Signals (S2) zum zweiten Zirkulator (C2) geschaltet ist,
dass das gefilterte Signal (S2) einer Messeinheit (ME) einer Signalqualität über dem Zirkulator (C2), dem Bandpassfilter (BPF0) und dem ersten Zirkulator (C1) abgegeben wird und
dass dem adaptiven optischen Filter (F) eine Steuereinheit (SE) wenigstens zur Durchschaltung und/oder zur Beeinflussung von Signalverzerrungen des optischen Signals (S) zugeschaltet ist.

23. Anordnung nach Anspruch 22,
dadurch gekennzeichnet,
dass dem Bandpassfilter (BPF0) und dem zweiten Zirkulator (C2) ein Verstärker (V1) zwischengeschaltet ist oder
dass ein Verstärker (V1) in der optischen Signalrückführung (FB) angeordnet ist.

24. Anordnung nach Anspruch 23,
dadurch gekennzeichnet,
dass dem Koppler (KO) und dem ersten Zirkulator (C1) ein Verstärker (V0) zwischengeschaltet ist.

25. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 18 bis 24,

dadurch gekennzeichnet,
dass der Messeinheit (ME) eine Ermittlungseinheit (EE) eines oder mehrerer Qualitätsparameter geschaltet ist.

26. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 18 bis 25,

dadurch gekennzeichnet,
dass der Ermittlungseinheit (EE) und der Steuereinheit (SE) ein bidirektionales Kommunikationsmittel (KM) zwischengeschaltet ist.

27. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 18 bis 26,

dadurch gekennzeichnet,
dass der Ermittlungseinheit (EE) ein Modul zur Analyse und/oder zur Trennung von Signaldegradationen zugeschaltet ist.

28. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 18 bis 27,

dadurch gekennzeichnet,
dass der Messeinheit (EE) ein optisch-elektrischer Wandler (OEW) vorgeschaltet ist.

29. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 18 bis 28,

dadurch gekennzeichnet,
dass das adaptive optische Filter (F) ein Modul zur Beeinflussung des Phasen- und/oder Amplitudenganges des optischen Signals aufweist und mittels der Steuereinheit (SE) gesteuert wird.

30. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 18 bis 29,

dadurch gekennzeichnet,

dass das optische Signal (S) ein Multiplex-Signal mit mehreren optischen Kanälen ist und
dass die Bandpassfilter (BPF0, BPF1) bzw. (BPF0) einstellbar kanalselektive Filter sind.

31. Verfahren zur Ermittlung von Signaldegradationen eines in einem Übertragungssystem übertragenen optischen Signals (S), bei dem an einer Stelle des Übertragungssystems mindestens ein Anteil des optischen Signals (S) einem einstellbaren Entzerrer (EQ) zugeführt wird, bei dem zur Entzerrung mehrere Einstellparameter eingestellt werden, dadurch gekennzeichnet, dass eine erste Reihe von Einstellparametern eingestellt wird,

dass zur weiterer Einstellung des Entzerrers (EQ) wenigstens eine weitere verschiedene Reihe der Einstellparametern eingestellt werden,

dass eine Analyse der unterschiedlichen Reihen der eingestellten Einstellparametern in Verbindung mit einer dadurch entstandenen Signalqualität des entzerrten Signals durchgeführt wird und

dass aus der Analyse mindestens eine Signaldegradation des zu entzerrenden Signals ermittelt wird.

32. Verfahren nach Anspruch 31,

dadurch gekennzeichnet,

dass das optische Signal (S) optisch-elektrisch umgewandelt wird und elektrisch, vorzugsweise mit einem IIR- oder FIR-Filter oder einem Kompensator einer oder mehrerer Signaldegradationen, entzerrt.

33. Verfahren nach Anspruch 31,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Entzerrung optisch, vorzugsweise mit einem IIR- oder FIR-Filter oder einem Kompensator einer oder mehrerer Signaldegradationen, erfolgt.

34. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 31 bis 33,

dadurch gekennzeichnet,
dass die Reihen der Einstellparametern in einer vordefinierten Weise gewählt und anschließend mit den sich ergebenden Signalqualitäten analysiert werden.

35. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 31 bis 33,

dadurch gekennzeichnet,
dass bei der Entzerrung die Reihen der Einstellparametern gemäß einer Optimierung der Signalqualität gewählt werden.

36. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 31 bis 35,

dadurch gekennzeichnet,
dass die Reihen der Einstellparametern gemäß bekannten Ursachen von Signaldegradationen gewählt werden.

37. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 31 bis 36,

dadurch gekennzeichnet,
dass die Reihen der Einstellparametern tabelliert werden und einer oder mehreren Arten und Stärken von Signaldegradationen zugeordnet werden.

38. Verfahren nach Anspruch 37,

dadurch gekennzeichnet,
dass weitere Signaldegradationen aus Interpolation der zu den Reihen von Einstellparametern zugeordneten Signaldegradationen ermittelt werden.

39. Verfahren nach einem der Ansprüche 31 bis 38,

dadurch gekennzeichnet,
dass ein oder mehrere optische Entzerrer oder adaptive Filter in teilweiser Reihen- und/oder Parallelschaltung mit einem

oder mehreren elektrischen Entzerrern oder adaptiven Filtern verwendet werden.

1/5

FIG 1

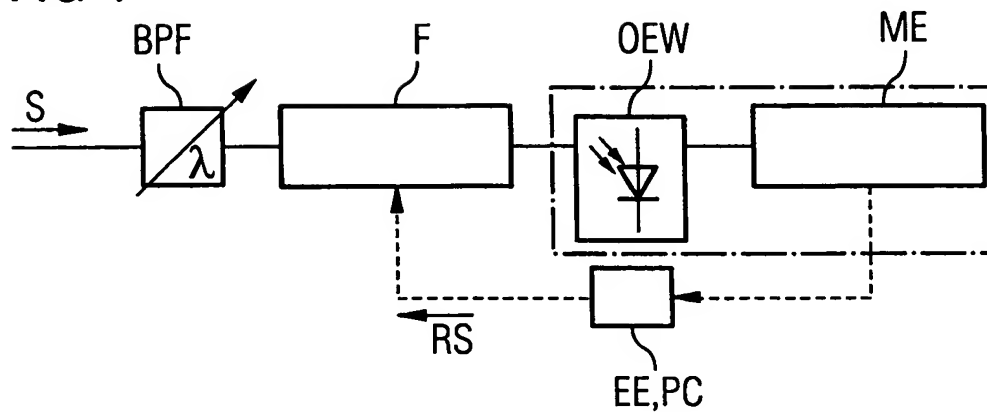


FIG 2

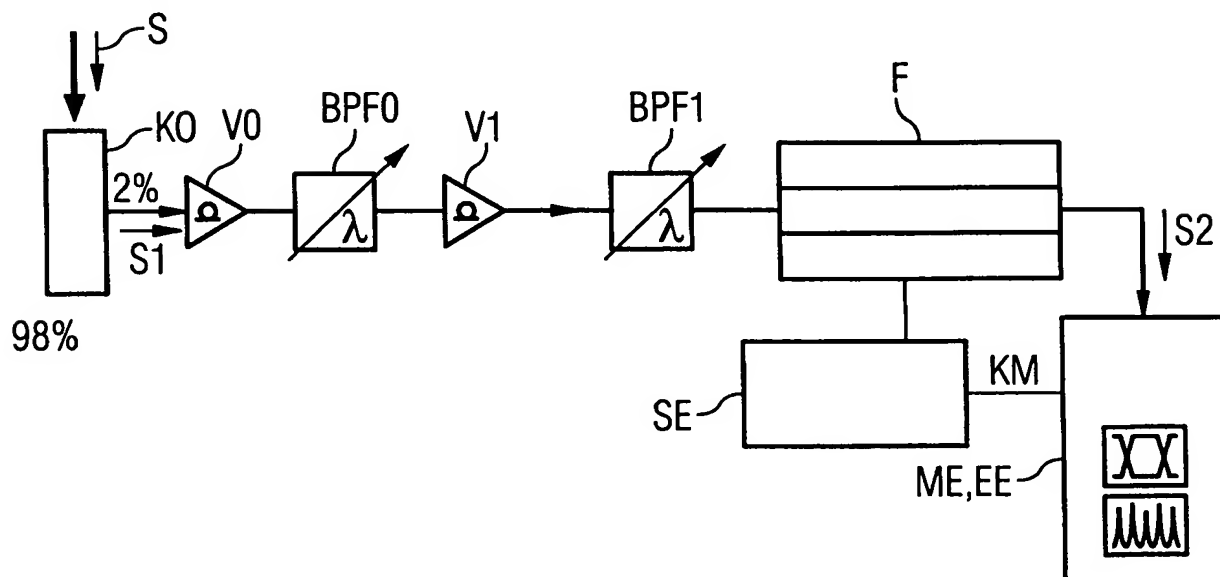


FIG 3

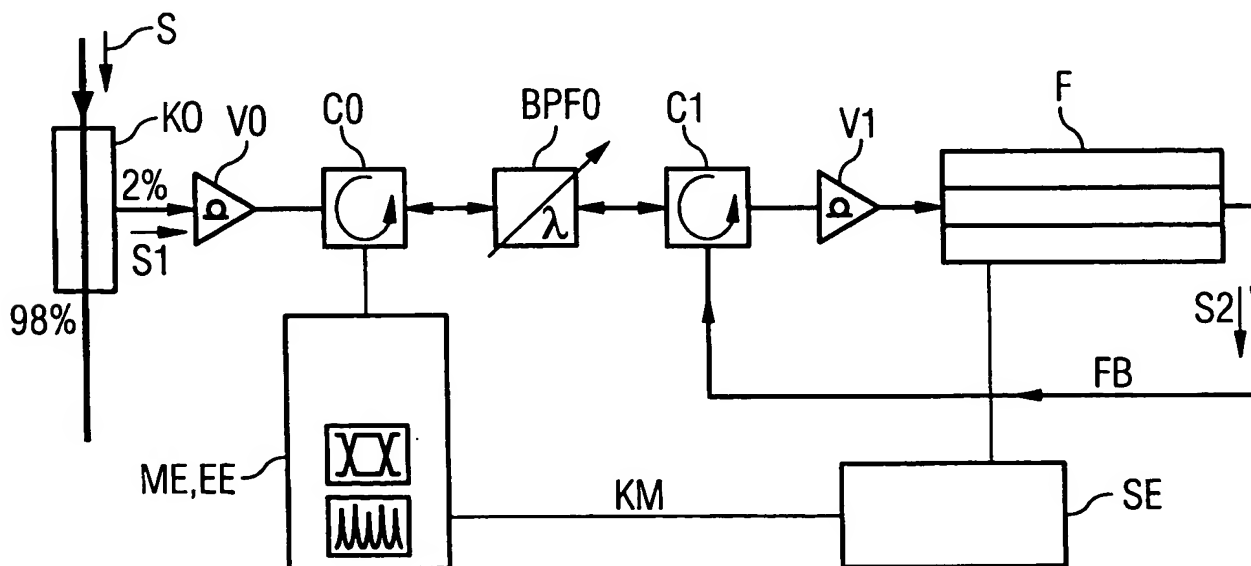


FIG 4

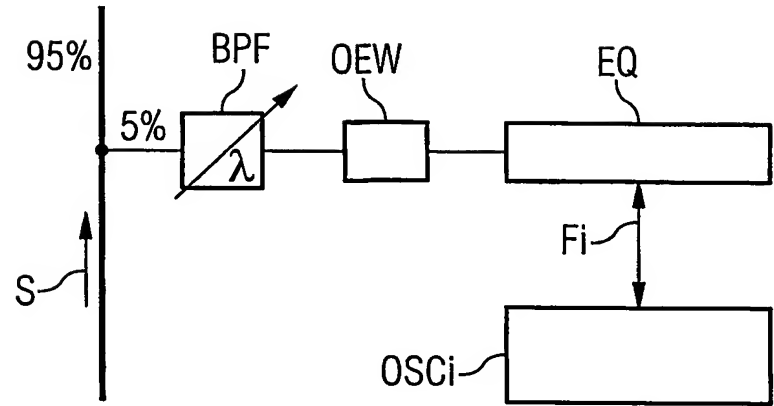


FIG 5

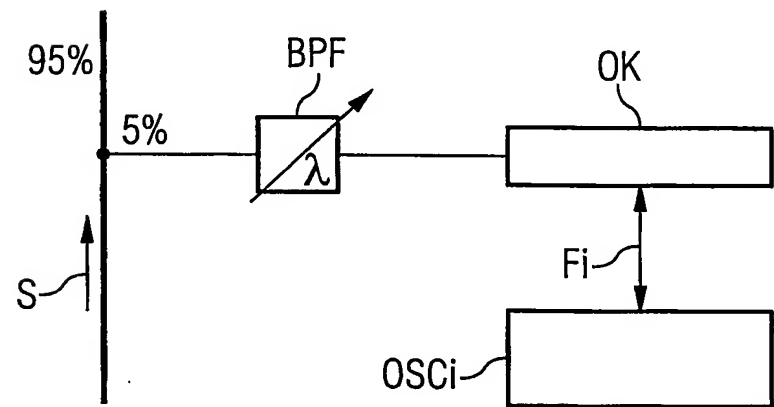
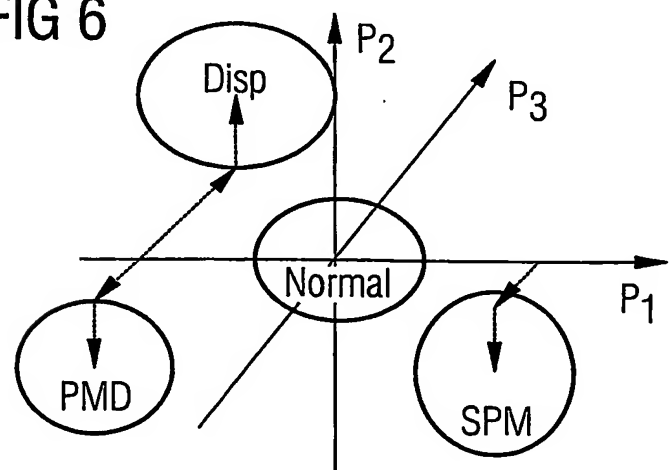
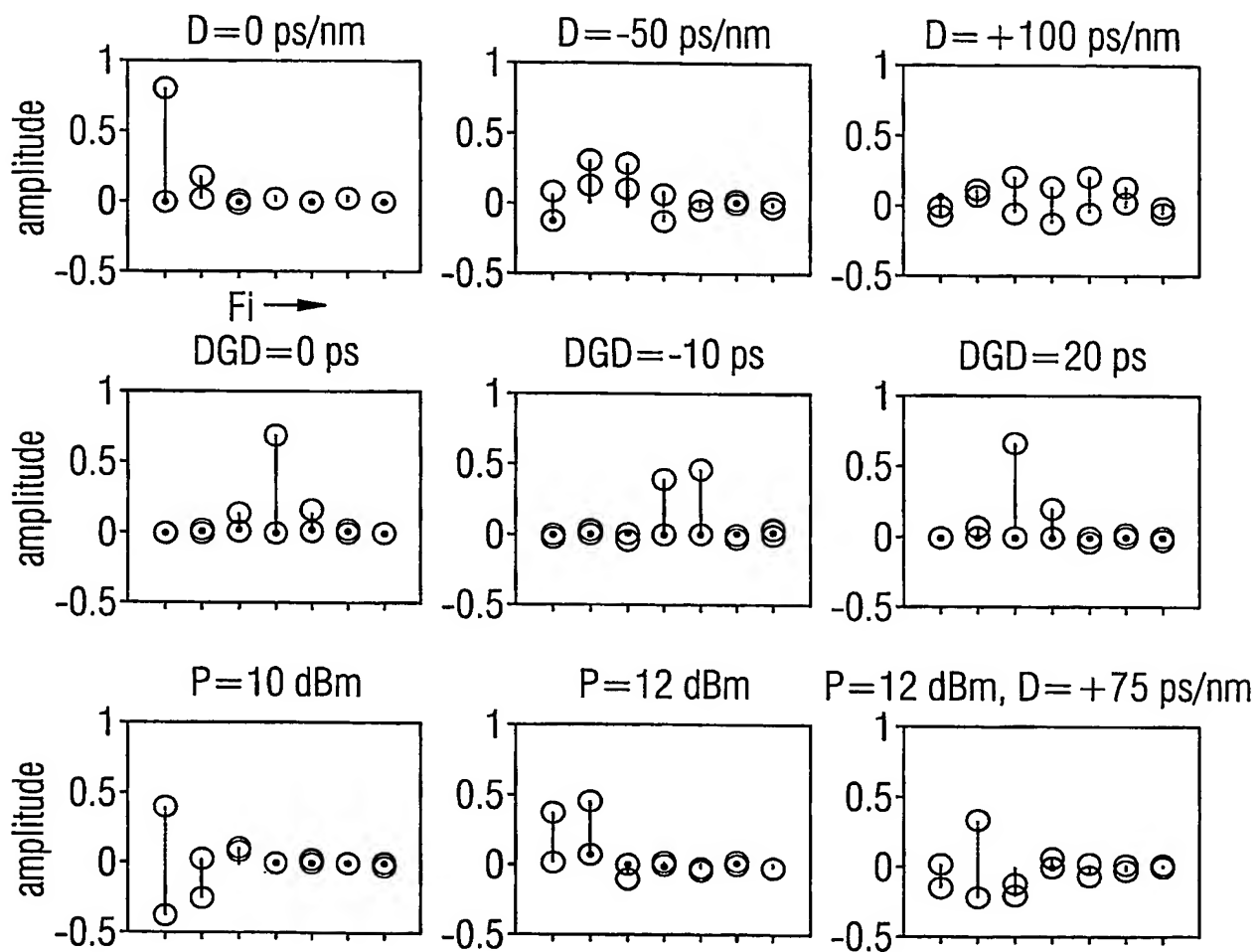


FIG 6



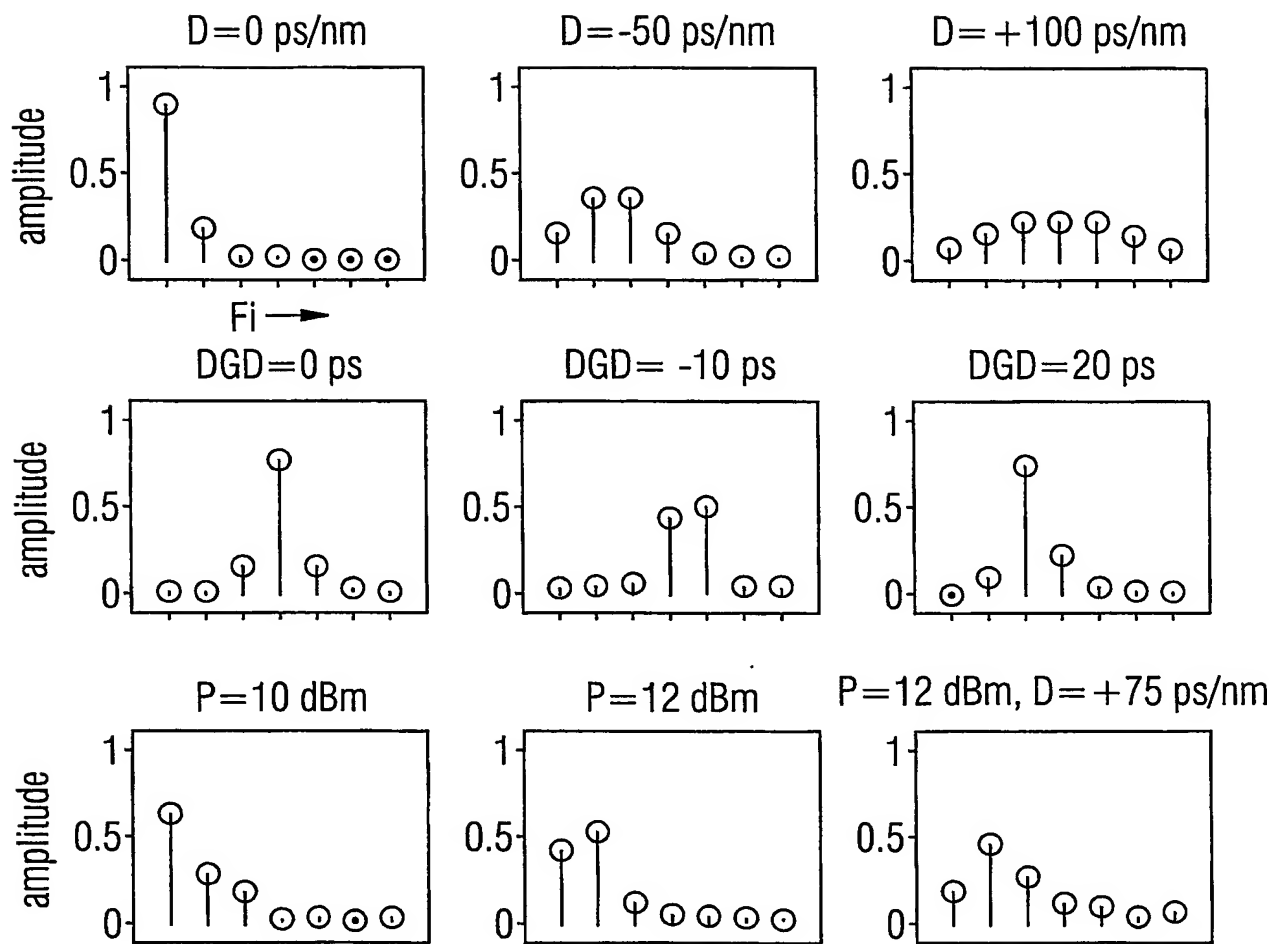
3/5

FIG 7



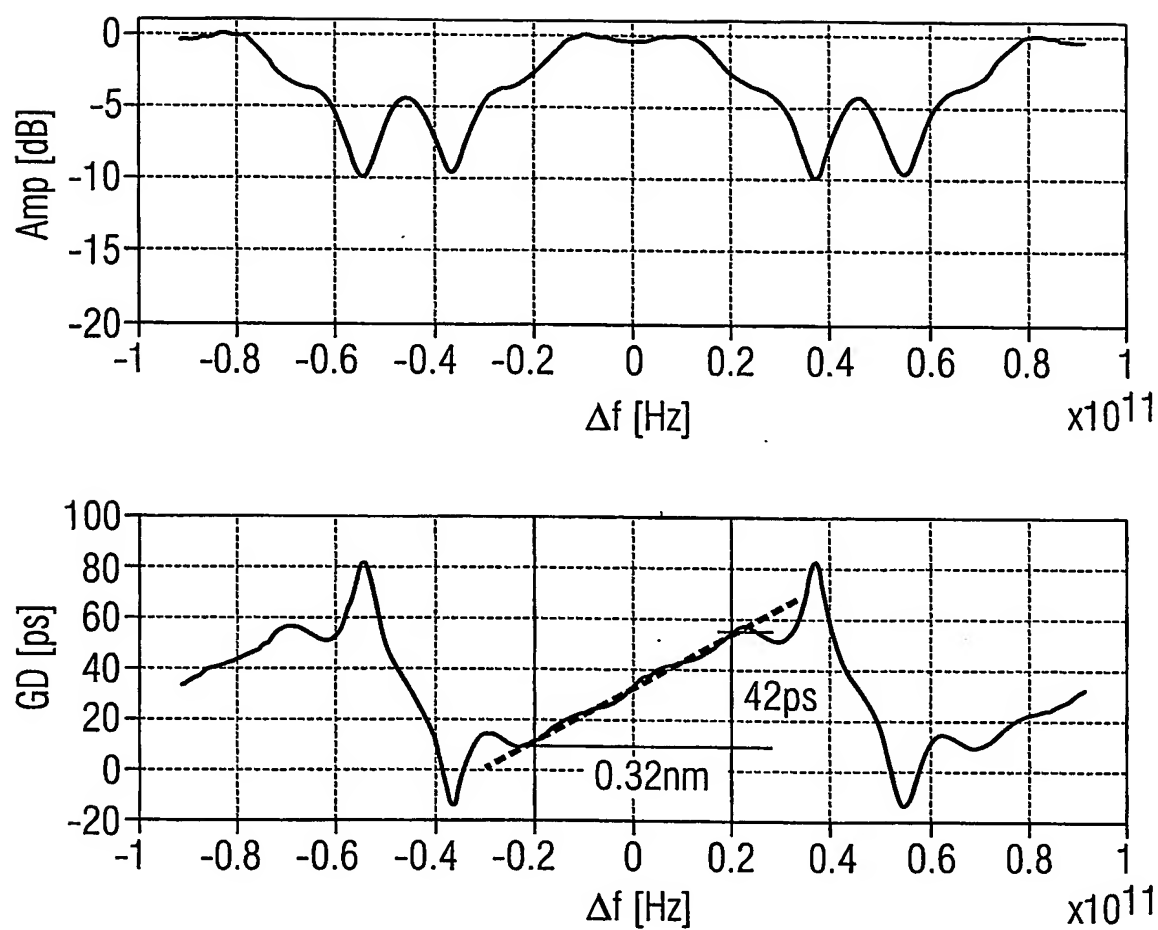
4/5

FIG 8



5/5

FIG 9



$$D = 42 \text{ ps} / 0.32 \text{ nm} \\ = 132 \text{ ps/nm}$$

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 03/02941

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H04B10/18

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H04B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>WO 00 50944 A (PENG JIANGDE ;FENG KAI MING (US); CAI JIN XING (US); KHOSRAVANI RE) 31 August 2000 (2000-08-31)</p> <p>page 4, line 1 -page 5, line 16 page 8, line 6 - line 15 page 14, line 10 - line 13 page 16, line 4 - line 9 page 18, line 12 -page 20, line 11 page 30, line 18 -page 31, line 6 page 33, line 3 - line 12 page 35, line 6 - line 12 page 40, line 15 -page 41, line 6 page 51, line 12 -page 52, line 18 page 61, line 11 - line 18 claims 43,44 figures 11A,14A,14B,23A-23C</p> <p>---</p> <p>-/--</p>	<p>1-7, 9-19,25, 26, 28-31, 33-37</p>

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

16 January 2004

Date of mailing of the international search report

23/01/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Hadziefendic, I

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 03/02941

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, X	EP 1 296 471 A (SIEMENS AG) 26 March 2003 (2003-03-26) abstract column 2, line 4 - line 26 column 2, line 55 - column 3, line 23 column 3, line 45 - column 5, line 2 column 6, line 20 - line 54 column 7, line 30 - line 49 -----	1-19, 25-37, 39
E	WO 03 077449 A (LEVY SHMUEL ; TIPRIS MENACHEM (IL); WEISS ANTONY J (IL); AELIS PHOT) 18 September 2003 (2003-09-18) page 6, line 12 - line 20 page 6, line 26 - line 29 page 7, line 4 - page 8, line 15 page 8, line 23 - page 10, line 12 -----	1-3, 5, 7, 9, 11, 13, 16, 17, 25, 28, 29, 31, 34-36
A	WO 02 19001 A (YU QIAN ; LEE SANGGEON (US); WILLNER ALAN E (US); YAN LIANSHAN (US)) 7 March 2002 (2002-03-07) page 14, line 4 - page 15, line 16 -----	1, 2, 5, 18, 25-29

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 03/02941

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 0050944	A	31-08-2000	US 6330383 B1	11-12-2001
			AU 5265500 A	14-09-2000
			CA 2364322 A1	31-08-2000
			EP 1177470 A1	06-02-2002
			JP 2002543444 T	17-12-2002
			WO 0050944 A1	31-08-2000
			US 2003086647 A1	08-05-2003
			US 2001021294 A1	13-09-2001
EP 1296471	A	26-03-2003	DE 10147161 A1	30-04-2003
			DE 10147162 A1	15-05-2003
			DE 10147063 A1	24-04-2003
			EP 1296471 A2	26-03-2003
			US 2003103723 A1	05-06-2003
WO 03077449	A	18-09-2003	WO 03077449 A1	18-09-2003
WO 0219001	A	07-03-2002	AU 9502201 A	13-03-2002
			WO 0219001 A2	07-03-2002
			US 2002075477 A1	20-06-2002

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

ationales Aktenzeichen

PCT/DE 03/02941

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 H04B10/18

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 H04B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	<p>WO 00 50944 A (PENG JIANGDE ;FENG KAI MING (US); CAI JIN XING (US); KHOSRAVANI RE) 31. August 2000 (2000-08-31)</p> <p>Seite 4, Zeile 1 -Seite 5, Zeile 16 Seite 8, Zeile 6 - Zeile 15 Seite 14, Zeile 10 - Zeile 13 Seite 16, Zeile 4 - Zeile 9 Seite 18, Zeile 12 -Seite 20, Zeile 11 Seite 30, Zeile 18 -Seite 31, Zeile 6 Seite 33, Zeile 3 - Zeile 12 Seite 35, Zeile 6 - Zeile 12 Seite 40, Zeile 15 -Seite 41, Zeile 6 Seite 51, Zeile 12 -Seite 52, Zeile 18 Seite 61, Zeile 11 - Zeile 18 Ansprüche 43,44 Abbildungen 11A,14A,14B,23A-23C ---</p>	<p>1-7, 9-19,25, 26, 28-31, 33-37</p>

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

16. Januar 2004

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

23/01/2004

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Hadziefendic, I

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
P,X	EP 1 296 471 A (SIEMENS AG) 26. März 2003 (2003-03-26) Zusammenfassung Spalte 2, Zeile 4 - Zeile 26 Spalte 2, Zeile 55 - Spalte 3, Zeile 23 Spalte 3, Zeile 45 - Spalte 5, Zeile 2 Spalte 6, Zeile 20 - Zeile 54 Spalte 7, Zeile 30 - Zeile 49 ----	1-19, 25-37,39
E	WO 03 077449 A (LEVY SHMUEL ;TIPRIS MENACHEM (IL); WEISS ANTONY J (IL); AELIS PHOT) 18. September 2003 (2003-09-18) Seite 6, Zeile 12 - Zeile 20 Seite 6, Zeile 26 - Zeile 29 Seite 7, Zeile 4 -Seite 8, Zeile 15 Seite 8, Zeile 23 -Seite 10, Zeile 12 -----	1-3,5,7, 9,11,13, 16,17, 25,28, 29,31, 34-36
A	WO 02 19001 A (YU QIAN ;LEE SANGGEON (US); WILLNER ALAN E (US); YAN LIANSHAN (US)) 7. März 2002 (2002-03-07) Seite 14, Zeile 4 -Seite 15, Zeile 16 -----	1,2,5, 18,25-29

INTERNATIONALES RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichung zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

DE 03/02941

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 0050944 A	31-08-2000	US 6330383 B1	11-12-2001
		AU 5265500 A	14-09-2000
		CA 2364322 A1	31-08-2000
		EP 1177470 A1	06-02-2002
		JP 2002543444 T	17-12-2002
		WO 0050944 A1	31-08-2000
		US 2003086647 A1	08-05-2003
		US 2001021294 A1	13-09-2001
EP 1296471 A	26-03-2003	DE 10147161 A1	30-04-2003
		DE 10147162 A1	15-05-2003
		DE 10147063 A1	24-04-2003
		EP 1296471 A2	26-03-2003
		US 2003103723 A1	05-06-2003
WO 03077449 A	18-09-2003	WO 03077449 A1	18-09-2003
WO 0219001 A	07-03-2002	AU 9502201 A	13-03-2002
		WO 0219001 A2	07-03-2002
		US 2002075477 A1	20-06-2002